

## **1. УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ В БАССЕЙНЕ Р. МУХАВЕЦ**

Бассейн р. Мухавец расположен на западе Брестской области в верховье Прибужской равнины, в Брестском Полесье и занимает площадь 6600 км<sup>2</sup>. Он вытянут с северо-востока на запад на 76 км, с севера на юг – на 102 км. Самым северным населенным пунктом является г. Пружаны (52°34' с. ш. и 24°27' в. д.), южным – д. Орехово Малоритского района (51°38' с. ш. и 23°56' в. д.), западным – г. Брест (52°05' с. ш. и 23°39' в. д.), а самым восточным – д. Ляховичи Дрогичинского района (52°03' с. ш. и 25°08' в. д.). Наибольшая высота над уровнем моря 184 м (д. Силичи Пружанского района), и самая низкая – 143 м (южнее д. Подземенье Кобринского района).

### **1.1. Климат**

Водный режим бассейна р. Мухавец формируется под воздействием умеренно-континентального климата, который определяется взаимодействием множества факторов, основными из которых являются солнечная радиация и циркуляционные процессы атмосферы. Бассейн р. Мухавец расположен в переходной зоне (от морского климата к континентальному), где ведущим климатообразующим фактором становится атмосферная циркуляция. Чередование воздушных масс различного происхождения и направления формирует неустойчивый тип погоды. Усиление континентального восточного влияния обуславливает ясную солнечную погоду, летом – жаркую и сухую, зимой – морозную. Морское, западное влияние приносит влажную ненастную погоду, летом – прохладную, зимой – теплую, со снегопадами, метелями, гололедами.

Зима относительно мягкая, ее начало приходится на конец ноября, когда среднесуточная температура воздуха переходит через 0 °С в сторону понижения. Отмечается значительное число фазовых переходов воды (периодическая смена оттепелей и морозов). Нередки в зимний период жидкие осадки. Продолжительность зимы составляет 3 – 3,5 месяца. Начало весны (середина марта) связано с появлением устойчивых положительных среднесуточных температур воздуха. Летом активность циркуляции атмосферы снижается, и доминирует роль радиационных факторов в климатообразовании. Погода в этот период устойчивая, достаточно тепло и влажно. В то же время часты кратко-

временные обильные дожди и грозы. Началу лета предшествует цветение сирени в середине мая, когда среднесуточная температура воздуха переходит через 14 °С. Окончанию лета соответствует уменьшение и переход среднесуточных температур через 10 °С в сторону понижения в начале октября. Продолжительность лета составляет около пяти месяцев. В осенний период преобладает дождливая, пасмурная погода.

Первые метеорологические наблюдения организованы в г. Брест (устье р. Мухавец) в 1834 г., а к концу XIX века создана метеостанция в г. Пружаны (исток р. Мухавец). В разные годы проводились наблюдения за характеристиками климата на водосборе р. Мухавец на постах в Кобрине, Жабинке, Малых Радваничах, Малорите, Дивине и др. В настоящее время на водосборе р. Мухавец действующими являются метеостанции в гг. Брест и Пружаны.

#### *Теплоэнергетические ресурсы климата*

Сложные взаимодействия солнечной радиации с подстилающей земной поверхностью приводят к преобразованию лучистой энергии в тепловую, что в итоге обуславливает фазовые превращения воды, биологические и химические процессы. Помимо приходящей на земную поверхность коротковолновой солнечной радиации имеет место ее отток в виде эффективного излучения, приходящегося на инфракрасную длинноволновую область спектра диапазоном 5 – 100 мкм.

Алгебраическая сумма потоков поглощенной коротковолновой радиации и эффективного излучения выражается величиной радиационного баланса [Будыко, 1971]:

$$R = Q - A - E_{\text{эф}}, \quad (1.1)$$

где  $R$  – радиационный баланс;  $Q$  – суммарная коротковолновая радиация, слагающаяся из прямой и рассеянной радиации;  $A$  – альbedo как отражательная способность земной поверхности;  $E_{\text{эф}}$  – эффективное излучение.

Радиационный баланс – знакопеременная величина как в сезонном, так и в суточном ходе. При положительной величине радиационного баланса, подстилающая поверхность поглощает большую долю суммарной коротковолновой радиации, чем ее уходит в виде длинноволнового (эффективного) излучения в радиационно-темное время суток. Происходит увеличение теплосодержания деятельного почвенного слоя и повышение температуры приземного слоя воздуха. В случае

отрицательной величины радиационного баланса преобладает эффективное излучение, тепло отдается атмосфере и понижается температура подстилающей поверхности.

Альbedo свойственны сезонные и суточные изменения. Сезонные – связаны с характером растительности, состоянием деятельной поверхности и др. Например, существенно изменение альbedo сельскохозяйственных угодий в период вегетации, а также его однозначное увеличение в зимние месяцы, благодаря высокой отражательной способности снежного покрова. Установлено, что с увеличением влажности почв от 1 до 15 – 20% величина альbedo резко уменьшается [Альbedo ..., 1981].

Эффективное излучение, входящее в уравнение (1.1), выражается зависимостью [Климат ..., 1996]

$$E_{эф} = E_3 - E_a, \quad (1.2)$$

где  $E_3$  – собственно излучение земной поверхности;  $E_a$  – встречное излучение атмосферы.

В большинстве случаев температура подстилающей поверхности выше температуры воздуха, когда соблюдается условие  $E_3 > E_a$  и величина  $E_{эф}$  является расходной статьей уравнения радиационного баланса (1.1). Но в переходные периоды, зимой и весной, при таянии снега и промерзшего слоя почвогрунтов, может иметь место соотношение  $E_3 < E_a$  и величина эффективного излучения – отрицательна. На водосборе р. Мухавец это явление часто наблюдается при смене погоды из-за фазовых превращений воды в толще снега, льда, в сезонно-промерзающем слое почвогрунтов.

В процессе тепловлагообмена происходит преобразование коротковолновой энергии в другие виды энергии. Как уже отмечалось выше, радиационный баланс имеет двузначный суточный и сезонный ход, это свойство присуще и его составляющим.

Заменяя скомпенсированные потоки энергии их суммами и группируя положительные и отрицательные потоки энергии, получаем развернутое уравнение теплоэнергетического баланса

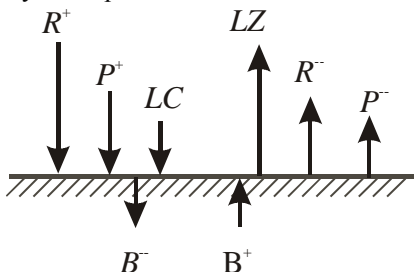
$$R^+ + P^+ + B^+ + LC = R^- + P^- + B^- + LZ, \quad (1.3)$$

где  $R^+ = Q_n$  – положительная составляющая радиационного баланса как приход коротковолновой радиации за вычетом эффективного излучения в радиационно-светлое время суток (поглощенная радиация);  $P^+$  –

положительная составляющая турбулентного теплообмена;  $B^+$  – увеличение теплосодержания поверхностного слоя почвы за счет теплоотдачи более глубоких слоев почвы в период их охлаждения;  $LC$  – тепло, выделяемое при конденсации водяных паров воздуха;  $R = E_{эф}$  – отрицательная составляющая радиационного баланса, представляющая собой величину эффективного излучения при отсутствии притока коротковолновой радиации;  $P^-$  – отрицательная составляющая турбулентного теплообмена;  $B^-$  – уменьшение теплосодержания поверхностного слоя почвы за счет теплоотдачи в более глубокие слои почвы;  $LZ$  – тепло, затрачиваемое на суммарное испарение.

В левой части уравнения (1.3) представлены теплоэнергетические ресурсы климата, а в правой – расходные статьи теплоэнергетического баланса.

Графически, в векторной форме, теплоэнергетический баланс подстилающей земной поверхности представлен на рис. 1.2. Уравнение (1.3) является выражением закона сохранения энергии и справедливо для любых промежутков времени.



**Рис. 1.2.** Схема векторов теплоэнергетического переноса на уровне подстилающей земной поверхности

Ввиду отсутствия данных актинометрических наблюдений на метеостанциях, находящихся на водосборе р. Мухавец, радиационные характеристики и теплоэнергетические ресурсы климата определяются расчетным путем. В табл. 1.1 приведены показатели радиации, рассчитанные с использованием данных актинометрических наблюдений в Пинске [Климат ... , 1979].

В расчетах использовано альbedo площадки, покрытой в бесснежный период травой, а часть зимы – снегом табл. 1.2 [Климат ... , 1979].

**Таблица 1.1.** Месячные и годовые суммы радиации (мДж/м<sup>2</sup>) на горизонтальной поверхности при действительных условиях облачности для г. Бреста

Период осреднения												
январь	февраль	март	апрель	май	июнь	июль	август	сентябрь	октябрь	ноябрь	декабрь	Год
Прямая радиация												
21,0	46,1	138	193	289	365	331	256	184	92,2	21,0	12,6	1949
Рассеянная радиация												
67,0	105	172	218	298	289	298	243	176	105	54,5	46,1	2072
Суммарная радиация												
88,0	151	310	411	587	654	629	499	360	197	75,4	58,7	4020
Поглощенная радиация												
33,5	62,9	189	331	457	511	494	394	281	151	54,5	33,5	2992
Эффективное излучение												
46,1	62,9	92,2	130	155	151	134	117	113	92,2	54,5	50,3	1198
Радиационный баланс												
-12,6	0,0	96,8	201	302	360	360	277	168	58,8	0,0	-16,8	1794

**Таблица 1.2.** Альbedo площадки для Бреста, в процентах

Месяц												
январь	февраль	март	апрель	май	июнь	июль	август	сентябрь	октябрь	ноябрь	декабрь	
60	57	39	19	22	22	21	21	22	23	27	44	

Годовые суммы радиационного баланса рассчитаны как

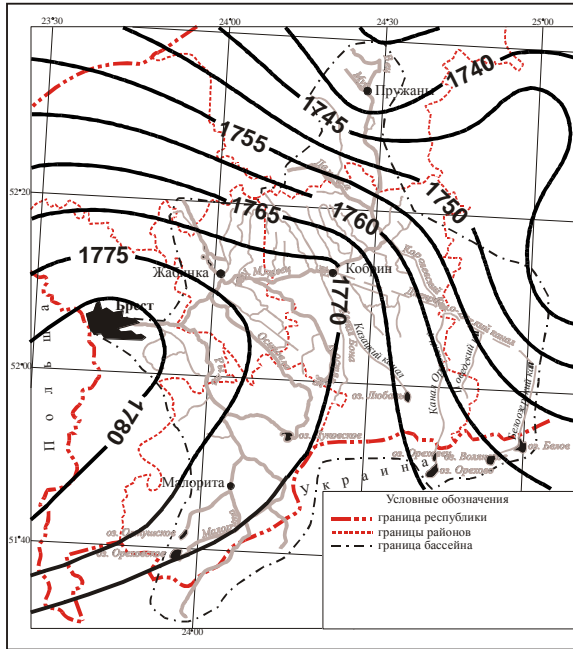
$$R_{\Gamma} = 1,274 \cdot \sum_{>10^{\circ}C}^{0,447} t, \quad (1.4)$$

где  $t_{>10^{\circ}C}$  – сумма температур больше 10°C.

В пределах водосбора р. Мухавец годовые суммы радиационного баланса изменяются с северо-востока на юго-запад в пределах от 1735 до 1785 мДж/м<sup>2</sup> (рис. 1.3).

Радиационный баланс водосбора р. Мухавец наибольший в Беларуси и превышает северо-восточные ее районы на 300 мДж/м<sup>2</sup> в год [Волчек, Калинин, 2002]. Годовые суммы поглощенной радиации водосбора изменяются в пределах 2950 – 2995 мДж/м<sup>2</sup> (в Бресте – 2992 мДж/м<sup>2</sup>). Эффективное излучение изменяется в пределах 1195 – 1210 мДж/м<sup>2</sup> (в Бресте – 1198 мДж/м<sup>2</sup>). Радиационный баланс положительный с марта по октябрь, и его максимальные значения приходятся на

июнь – июль. Наибольшие отрицательные значения приходятся на декабрь (табл. 1.1).



**Рис. 1.3.** Годовые суммы радиационного баланса, МДж/м<sup>2</sup>

В табл. 1.3 приведены годовые показатели турбулентного теплообмена, рассчитанные по формулам [Мезенцев, Карнацевич, 1969]:

$$P_{\Gamma}^{+} = 6,8 - 0,082 \cdot R_{\Gamma}; \quad (1.5)$$

[Мешик, 1998]

$$P_{\Gamma}^{-} = 45,94 - 0,016 \cdot \sum_{t > 10^{\circ}C} t^{*}, \quad (1.6)$$

**Таблица 1.3.** Годовые суммы турбулентного теплообмена, мДж/м<sup>2</sup>

Метеопункт	$P^{+}$	$P$	Метеопункт	$P^{+}$	$P$
Брест	139	205	Малорита	140	232
Кобрин	140	232	Пружаны	143	305

\* Примечание: в формулах (1.4 – 1.6) теплоэнергетические составляющие в ккал/см<sup>2</sup> (1 ккал/см<sup>2</sup> = 41,9 мДж/м<sup>2</sup>).

Как видно из табл. 1.3, в годовом теплоэнергетическом балансе доминирует отрицательная составляющая турбулентного теплообмена, что свидетельствует о более высоком теплосодержании подстилающей земной поверхности в большую часть года, чем воздушных потоков, поступающих, в основном, с Атлантики. В итоге на нагревание воздушных потоков расходуется часть коротковолновой радиации и потока тепла из почвы. Лишь в холодный период года Атлантические воздушные массы имеют более высокое теплосодержание и формируют приходную часть теплоэнергетического баланса (1.3).

Теплообмен в почве – величина знакопеременная в годовом разрезе. С марта по август доминируют потоки, направленные от поверхности вглубь почвы. Для среднего годового периода справедливо соотношение  $B^+ - B^- \approx 0$ , так как почти все тепло, аккумулированное в деятельном слое почвы за теплый период, расходуется при теплоотдаче за холодный период года. По сравнению с радиационными характеристиками и турбулентным теплообменом величины теплообмена в почве малы, и часто в практических расчетах ими пренебрегают. Это относится также и к теплу, выделяемому при конденсации.

Как было отмечено выше, для водосбора р. Мухавец характерно большое количество фазовых переходов влаги в зимний период, которые приводят к локальному выделению или поглощению тепла. Число циклов замерзания и оттаивания в году равно, поэтому при расчете теплоэнергетического баланса (1.3) за годовой период тепло фазовых переходов не учитывается.

Большая часть приходных статей уравнения (1.3) расходуется на процесс суммарного испарения. Для определения затрат тепла заменяем суммарное испарение на максимально возможное испарение, в предположении достатка ресурсов влаги. Пространственная структура максимально возможного испарения имеет широтное распространение, увеличивается с юго-запада на северо-восток и подчиняется основным закономерностям распределения солнечной радиации. В Бресте максимально возможное испарение равно  $Z_m = 862$  мм, в Пружанах –  $Z_m = 786$  мм [Волчек, Калинин, 2002]. Затраты тепла на процесс суммарного испарения на водосборе р. Мухавец составляют 1974 – 2165 мДж/м<sup>2</sup>.

Солнечное сияние в принятой нами терминологии означает наличие прямой солнечной радиации. При этом определяющим является не интенсивность, а сам факт поступления прямых солнечных лучей. По

решению Всемирной метеорологической организации (ВМО) нижний порог, начиная с которого отмечается солнечное сияние, равен  $0,12 \text{ кВт/м}^2$ . Продолжительность солнечного сияния определяется временем, когда солнце находится над горизонтом, и облачностью [Климат ..., 1996]. Максимально возможная продолжительность солнечного сияния на водосборе р. Мухавец составляет около  $4510 \pm 5$  часов в год. Действительная продолжительность солнечного сияния значительно меньше и определяется режимом облачности. Так, для г. Бреста средняя многолетняя годовая интенсивность солнечного сияния за период 1975 – 2004 гг. составила 1824 часа. В отдельные годы  $\tau_r$  может быть менее 1500 часов, например, в 1980 г. в г. Брест  $\tau_r = 1392$  часа. В 1980 г. лето в Бресте отличалось пасмурной погодой и обилием осадков. Начало XXI века характеризуется наибольшей продолжительностью солнечного сияния в г. Брест: 2000 г. –  $\tau_r = 2119$  час.; 2002 г. –  $\tau_r = 2010$  час.; 2003 г. – 2137 час.

Среднее квадратическое отклонение для  $\tau_r$  составляет 148 часов. Распределение  $\tau_r$  близко к нормальному, и можно считать, что примерно в 70 % случаев годовая продолжительность отличается от средней не больше, чем на указанную величину [Климат ..., 1996].

В табл. 1.4 приведены характеристики продолжительности солнечного сияния за период 1975 – 2004 гг., а также данные по другим источникам и периодам.

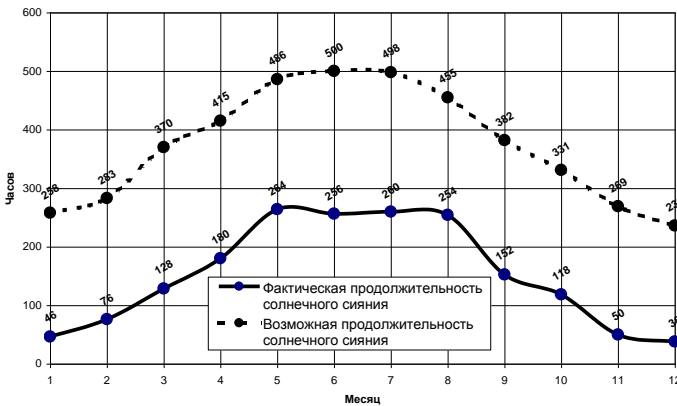
**Таблица 1.4.** Характеристики продолжительности солнечного сияния в Бресте

Период осреднения												
январь	февраль	март	апрель	май	июнь	июль	август	сентябрь	октябрь	ноябрь	декабрь	Год
τ, часов за 1975 – 2004 гг. Осредненные данные по метеостанции Брест												
46	76	128	180	264	256	260	254	152	118	50	38	1824
Среднее квадратическое отклонение, часов												
15	25	35	42	38	49	53	43	46	42	18	15	148
Отношение фактической и возможной продолжительности, %												
18	27	35	43	54	51	52	56	40	36	19	16	40
τ, часов за 1949-1963 гг. [Климат Бреста, 1979]												
43	66	141	181	246	269	262	239	199	129	42	33	1850
τ, часов за 1938-1980 гг. [Научно – прикладной ..., 1987]												
49	68	137	170	238	265	259	241	187	116	43	33	1806



Как видно из табл. 1.4, данные по различным источникам существенно отличаются. Это связано прежде всего с использованием различных периодов осреднения, приходящихся на различные климатические эпохи. Так, считается, что максимальная продолжительность солнечного сияния приходится на июнь. Однако данные последних 30 лет говорят о значительной трансформации климатических характеристик. Нынешний максимум  $\tau$  приходится на май, а его значения в июне меньше июльских. Обнаруживается тенденция перераспределения продолжительностей солнечного сияния между смежными месяцами. Так, в феврале увеличиваются значений  $\tau$ , а затем они снижаются в марте. Такая же картина наблюдается в мае – июне, августе – сентябре.

На рис. 1.4 приведен внутригодовой ход возможной и фактической продолжительности солнечного сияния в Бресте. Кривые практически следуют синхронно, за исключением снижения и увеличения  $\tau$  в отмеченные месяцы. Указанные трансформации связаны с изменением режима облачности и, в итоге, режима выпадения атмосферных осадков.



**Рис. 1.4.** Возможная и фактическая продолжительности солнечного сияния в Бресте, час

В 1960 г. ВМО предложила для вычисления климатических норм использовать 30 – летние периоды наблюдений: 1931 – 1960 гг., затем 1961 – 1990 гг. Этот подход позволяет проводить обобщение данных всего мира, сохраняя при этом однородность рядов наблюдений во времени. Однако в конце 80 - х годов прошлого столетия Региональная ассоциация VI (Европа) ВМО произвела пересмотр климатических

норм ввиду недостаточной обоснованности принятого периода (три «последних предшествующих десятилетия»). В настоящее время под периодом для вычисления норм понимается определенный период времени, достаточный для определения параметров, получаемых из вероятностных распределений. Эти параметры за пределами данного периода для достаточно долгого времени должны оставаться в статистическом смысле стабильными. Статистическая стабильность для произвольно выбранного периода не может быть оговорена заранее. Она является функцией длительности периода, наличия внутрирядных связей и расположения периода во времени [Климат ..., 1996].

На исследуемой территории достаточно сложно подобрать ряды, имеющие статистическую однородность. Наличие большого количества длительных пропусков, корректировка методик регистрации инструментальных данных, замена приборов и др. не всегда позволят получить статистическую стабильность имеющегося ряда. В этой связи необходимо руководствоваться не только статистическими, но и физическими принципами. Рассматривая климатологию в прикладном аспекте, необходимо исходить из того, что осредненные климатические характеристики служат исходными данными при проектировании на водосборе р. Мухавец различных водохозяйственных, гидротехнических, сельскохозяйственных и др. объектов, срок службы которых ограничен. Большинство сооружений через 20 – 30 лет необходимо реконструировать, учитывая при этом изменившиеся климатические условия. Использование в инженерном проектировании длительных рядов наблюдений может изначально исказить фактическую ситуацию, так как сглаживаются тренды, сформировавшиеся в последние десятилетия. Авторы считают необходимым при вычислении климатических норм, используемых в инженерных расчетах, принимать ряды наблюдений за последние 30 лет (1975 – 2004 гг.). Это позволит учитывать трансформированные режимы формирования климатических характеристик и предусматривать адекватные компенсационные мероприятия.

### *Термические ресурсы*

Температура воздуха – одна из основных климатических характеристик. Она является производной величиной радиационного режима в теплый период и определяется атмосферной циркуляцией в холодный период года. Наиболее общей характеристикой термического режима

является средняя месячная температура воздуха. В табл. 1.5 приведены средние многолетние значения температуры воздуха для Бреста за 1975 – 2004 гг., а также данные по различным источникам и периодам.

Как видно из табл. 1.5, данные, полученные из различных источников, существенно разнятся между собой. Это связано прежде всего с большой изменчивостью средних значений. В частности, среднее квадратическое отклонение в рассматриваемом 30 – летнем периоде приведено в табл. 1.6.

**Таблица 1.5.** Средняя многолетняя месячная и годовая температура воздуха в Бресте, °С

Период осреднения												
январь	февраль	март	апрель	май	июнь	июль	август	сентябрь	октябрь	ноябрь	декабрь	Год
1888 – 1960 гг. [Климат Бреста, 1979]												
-4,4	-3,6	0,6	7,3	14,2	17,0	18,8	17,6	13,4	7,7	2,4	-2,2	7,4
1881 – 1980 гг. [Научно – прикладной ..., 1987]												
-4,7	-3,8	0,4	7,3	13,6	16,9	18,4	17,4	13,1	7,7	2,6	-2,0	7,2
1881 – 1990 гг. [Климат ..., 1996]												
-4,5	-3,5	0,7	7,3	13,6	16,7	18,4	17,4	13,3	7,7	2,6	-1,8	7,3
Осредненные данные за 1975 – 2004 гг. по метеостанции Брест												
-2,7	-2,1	1,9	8,2	14,1	16,8	18,6	18,1	13,1	8,1	2,5	-1,5	7,9

**Таблица 1.6.** Среднее квадратическое отклонение средней месячной и годовой температуры воздуха за период осреднения 1975 – 2004 гг. в Бресте, °С

Период осреднения												
январь	февраль	март	апрель	май	июнь	июль	август	сентябрь	октябрь	ноябрь	декабрь	Год
3,7	3,8	2,4	1,7	1,7	1,4	1,8	1,4	1,5	1,4	2,4	2,5	1,0

Погрешности между отдельными месяцами различных 30 – летних периодов могут достигать значений до 0,7 °С, что делает невозможным вычисление климатической «нормы» температуры по короткому ряду. Для определения нормы должен использоваться временной ряд максимальной продолжительности, включающий все колебания уровня ряда [Климат ..., 1996]. В то же время табл. 1.6 показывает существенные современные трансформации температур воздуха. Так,

наблюдается рост температур в холодный период года, что, в итоге, приводит к увеличению среднегодовой температуры. Увеличение температуры воздуха в марте связано с большим количеством малоснежных зим в период 1975 – 2004 гг. и, соответственно, снижением затрат тепла на таяние снега. Большая часть тепла стала расходоваться на нагревание воздуха. Безусловно, эта тенденция должна быть учтена при разработке хозяйственных мероприятий на водосборе р. Мухавец. В частности рост зимних и весенних температур воздуха приводит к увеличению продолжительности вегетационного периода сельхозкультур, вследствие чего юго-западная часть Беларуси получает выгодные термические ресурсы, необходимые для интенсификации сельхозпроизводства.

Максимальная средняя месячная температура воздуха на водосборе р. Мухавец приходится на июль (63 % лет), минимальная – на январь (53 % лет). В отдельные годы наиболее высокие температуры наблюдаются в июне (17 % лет) и в августе (20 % лет), наиболее низкие – в феврале (32 % лет) и декабре (13 % лет) [Климат ..., 1979].

Изменение во времени средней месячной температуры воздуха достаточно хорошо описывается нормальным законом распределения, что позволяет по среднему квадратическому отклонению и среднему многолетнему значению температуры получить обеспеченные величины по формуле:

$$t_p^o = \bar{t}^o \cdot (\Phi_p \cdot \frac{\sigma}{\bar{t}^o} + 1), \quad (1.7)$$

где  $t_p^o$  – величина температуры воздуха расчетной обеспеченности;  $\bar{t}^o$  – среднемноголетнее значение температуры воздуха;  $\Phi_p$  – нормированное отношение ординаты кривой обеспеченности.

Экстремальные значения средней месячной температуры воздуха за инструментальный период по метеостанции Брест приведены в табл. 1.7 [Климат..., 1996], т. е. вероятность их появления – примерно 1 раз в 100 лет.

Более детальные сведения о временной изменчивости температуры могут быть получены при рассмотрении декадных и суточных температур воздуха. Такие температуры обычно получают по годовому ходу месячных значений. Оценку среднедекадных (среднесуточных) значений, заданных на дискретном множестве точек, и экстраполяцию их на

всю область определения функции непрерывного аргумента, возможно осуществлять с использованием соответствующего математического аппарата, например, интерполяционных многочленов Лагранжа и Ньютона, сплайнов и полиномов различных степеней, средней квадратической аппроксимации, цепей Маркова, синусоидальной аппроксимации, разложением в ряд Фурье. Большинство временных рядов гидрометеохарактеристик являются нестационарными квазислучайными последовательностями. Их среднее значение и дисперсия изменяются во времени, в зависимости от которого находится и функция распределения. Значения  $X_i$  временного ряда являются взаимосвязанными, между ними прослеживается четкая корреляция, постепенно затухающая в течение определенного периода времени, различного для конкретного гидрометеозлемента. Для прогностической оценки и восстановления пропусков в рядах наблюдений можно на практике формализовать Марковские процессы различных порядков

**Таблица 1.7.** Экстремальные значения средней месячной температуры воздуха (°C) по метеостанции Бреста за инструментальный период наблюдений (1888 – 1994 гг.)

Период осреднения											
январь	февраль	март	апрель	май	июнь	июль	август	сентябрь	октябрь	ноябрь	декабрь
Минимальные наблюдаемые температуры воздуха											
-14,8	-15,5	-5,3	1,1	9,8	13,9	15,0	14,6	10,5	4,1	-3,2	-8,4
Максимальные наблюдаемые температуры воздуха											
2,3	4,6	6,4	10,9	17,6	20,7	21,9	21,6	16,4	12,0	7,8	2,6
Температуры воздуха обеспеченностью P=99%											
-12,9	-12,4	-5,5	3,1	9,6	13,2	15,4	14,6	10,0	3,7	-1,8	-7,6
Температуры воздуха обеспеченностью P=1%											
3,7	5,4	6,8	11,5	17,6	20,2	21,4	20,2	16,6	11,7	7,0	4,0

$$X_i = \sum_{k=1}^n a_k X_{i-k}, \tag{1.8}$$

где  $X_i$  – значение гидрометеовеличины в момент времени  $i$ ;  $a_i$  – коэффициенты, определяемые особенностями временной структуры исследуемого ряда;  $n$  – порядок Марковского процесса;  $X_{i-k}$  – значения гидрометеовеличины в предыдущие моменты времени ( $i-k$ ).

При анализе климатических характеристик целесообразно использовать синусоидальную аппроксимацию, полиномиальную интерпо-

ляцию или Фурье – анализ, так как исследуемые ряды содержат периодическую составляющую. При наличии большого числа гармоник во временном ходе значений гидрометеорологических величин следует использовать степенной полином вида:

$$f(X) = \sum_{i=0}^n a_j \cdot X^i, \quad (1.9)$$

где  $a_j$  – постоянные коэффициенты;  $n$  – показатель степени полинома.

Эмпирический или теоретический временной ряд можно разложить в ряд Фурье, сумма которого является функцией периода (2 $\pi$ )

$$f(X) = a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} (a_n \cdot \cos nX + b_n \cdot \sin nX), \quad (1.10)$$

где  $a_0$ ,  $a_n$ ,  $b_n$  – коэффициенты Фурье;  $n$  – порядок гармоники.

При выборе способа аппроксимации для конкретного временного ряда следует руководствоваться критериями математической статистики (коэффициентом корреляции,  $F$  – критерием Фишера, остаточной дисперсией и др.). Как показали исследования, наиболее достоверная оценка оптимизируемой функции осуществляется по минимуму остаточной дисперсии, значения которой для различных гидрометеорологических элементов в Бресте представлены в табл. (1.8) [Исследование ..., 1996].

**Таблица 1.8.** Значения остаточной дисперсии для различных аппроксимирующих функций и элементов для Бреста

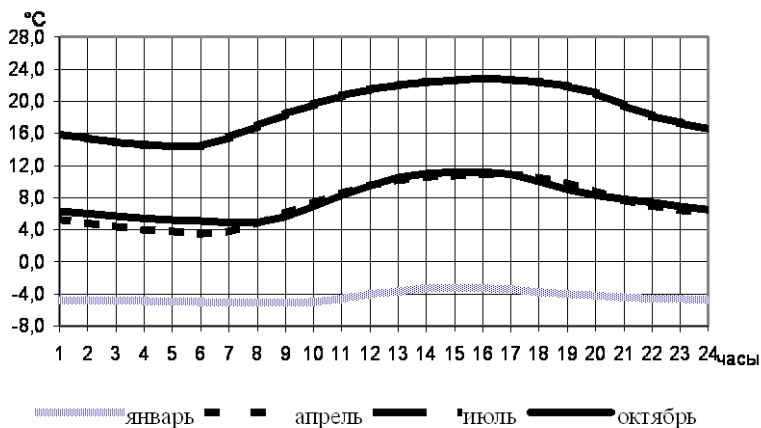
Атмосферные осадки	Температура воздуха	Дефицит насыщения	Относительная влажность воздуха	Общая облачность
Синусоидальная аппроксимация				
0,145	0,761	0,820	1,636	0,253
Полиномиальная интерполяция				
0,068	1,168	0,179	1,080	0,245
Фурье - анализ				
0,037	0,637	0,098	0,589	0,134

Из табл. 1.8 видно, что описание временных рядов основных гидрометеорологических элементов предпочтительно проводить рядами Фурье. Для температур воздуха возможно использование синусоидальной аппроксимации, так как во временном ходе слабо выражены гармонические колебания эмпирических точек.

При непосредственном подсчете декадных величин температур воздуха по ежегодным данным и их сопоставлении с аппроксимиро-

ванными значениями отмечаются незначительные погрешности  $\sigma_{\bar{x}} = \pm 0,2 - 0,5^{\circ}\text{C}$ , что дает возможность применения различных способов получения среднедекадных и среднесуточных температур воздуха при решении прикладных задач. Необходимо отметить, что наблюдается большой разброс температур воздуха отдельных суток. Среднее квадратическое отклонение суточной температуры от средней месячной величины изменяется от  $2,5 - 3,0^{\circ}\text{C}$  летом до  $5,0 - 7,0^{\circ}\text{C}$  зимой. Кроме того, для распределения суточных температур, особенно в холодный период года, характерна значительная асимметричность (коэффициент асимметрии составляет  $-0,5 \dots -1,0$ ) [Климат ..., 1996].

Большая изменчивость характерна для температур воздуха в течении суток. На рис. 1.5 показан внутрисуточный ход температуры воздуха для Бреста.



**Рис. 1.5.** Внутрисуточный ход температуры воздуха в Бресте, °C

Максимальная суточная температура приходится на 15 – 16 часов практически для всех месяцев года. Минимальная – на 5 – 6 часов в теплый период и 7 – 8 часов в холодный период года. Максимальная амплитуда внутрисуточных температур воздуха составляет  $8,6^{\circ}\text{C}$  в августе, минимальная –  $1,7^{\circ}\text{C}$  в декабре.

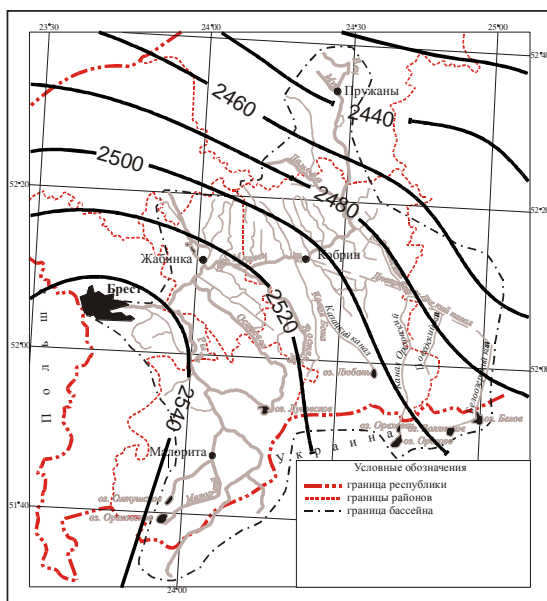
Пространственное распределение температур воздуха на водосборе р. Мухавец носит во вторую половину весны и летом широтный характер, осенью и зимой температуры увеличиваются по направлению северо-восток – юго-запад.

Важными показателями, учитываемыми в агроклиматологии, являются даты устойчивого перехода средней суточной температуры воздуха через различные пределы (табл. 1.9) и суммы накопленных температур.

**Таблица 1.9.** Средние даты перехода средней суточной температуры воздуха через 0, 5, 10, 15 °С в Бресте [Климат ..., 1996]

весна			
0	5	10	15
13.III	7.IV	27.IV	21.V
осень			
15	10	5	0
6.IX	4.X	1.XI	1.XII

На рис. 1.6 представлено пространственное распределение сумм накопленных температур воздуха более 10°C.



**Рис. 1.6.** Пространственное распределение сумм температур воздуха более 10°C

Как видно из рис. 1.6, наибольшими и достаточными термическими ресурсами для получения высоких урожаев сельскохозяйственных



культур, при обеспечении водой в требуемом количестве обладает юго-западная часть водосбора р. Мухавец.

### *Режим увлажнения*

Распределение атмосферных осадков по описываемой территории представляет собой сложную картину «пятнистости», обусловленную определенным сочетанием физико-географических факторов водосбора р. Мухавец. Причины пятнистости заложены в характере общециркуляционных процессов и неоднородности свойств подстилающей поверхности. Постоянные движения воздуха по вертикали (турбулентность в воздушном потоке), приводят к образованию облаков и неравномерному выпадению осадков. Очевидно, что глобальные и местные факторы постоянно находятся во взаимодействии и влияют на атмосферные осадки всей своей совокупностью. С одной стороны, в процессе циркуляции возникают воздушные потоки, переносящие тепло и влагу (адвекция тепла и влаги) на огромные расстояния по горизонтали, с другой – вертикальные перемещения воздушных масс приводят к повышению влагосодержания во всем слое тропосферы. Адиабатическое охлаждение влажного воздуха также способствует образованию влагоносных воздушных масс и выпадению атмосферных осадков.

На юго-западе, как и на всей территории Беларуси, циклоническая деятельность неравномерна. Происходит постепенное ее ослабление в направлении с северо-запада на юго-восток. Зимние осадки формируются из теплых воздушных океанических масс, приходящих с циклонами. В начале лета влагоперенос осуществляется вглубь континента, где увлажняется континентальный воздух, а затем, в результате общей циркуляции, влагоносные воздушные массы смещаются во внутренние области, где и происходит выпадение осадков. Основное количество осадков на территории дают фронтальные циклоны, где тепловлагоресурсы дополнительно черпаются от континентальных и тропических воздушных масс.

Важным параметром, определяющим величину скорости водообмена между океаном и материком, между отдельными регионами, а также – величину адвективного переноса влаги, выступает интенсивность горизонтального влагопереноса в атмосфере. Интенсивность зависит от влагосодержания воздушных масс и термических условий. Сезонные колебания интенсивности влагопереноса в значительной мере синхронны годовому ходу температуры воздуха. Но эти процес-

сы происходят на фоне различного среднего уровня увлажненности атмосферы и скоростей переноса воздушных масс, менее зависимых от термических факторов. Пространственная изменчивость интенсивности влагопереноса особенно велика в зимний период. Летом, когда доля испарения с поверхности суши в увлажнении атмосферы соизмерима с адвекцией океанской влаги, интенсивность влагопереноса стабилизируется.

По количеству выпадающих осадков водосбор р. Мухавец можно отнести к зоне достаточного увлажнения. Однако неравномерность поступления и расхода природных водных ресурсов как во времени, так и в пространстве большей частью не обеспечивает оптимальный водно-воздушный режим для большинства сельскохозяйственных культур в естественных условиях.

Для водосбора р. Мухавец характерен следующий режим выпадения осадков: максимум приходится на июль, минимум – на февраль-март. Однако в нехарактерные годы внутрigoдовой ход атмосферных осадков может быть иным. Число дней в году с осадками в Бресте – 178. Наиболее часто осадки выпадают в осенне-зимний период. В среднем 17 – 18 дней с осадками – в декабре-январе и 12 – 17 дней – в октябре – ноябре. Минимум дней с осадками – 11 – приходится на апрель. В среднем на теплый период (апрель – октябрь) приходится почти каждый второй день с осадками, когда выпадает более 70 % их годовой суммы. В теплый период года интенсивность осадков большая, чем в холодный. На весенне-летний период приходится около 20 дней с осадками интенсивностью более 5 мм, на осенне-зимний – 12 – 13 дней [Климат ..., 1979].

Годовые суммы атмосферных осадков значительно колеблются по годам, достигая амплитуды 600 мм и более. Наибольшая годовая сумма – 925 мм – зафиксирована на метеостанции Пружан в 1970 г., на метеостанции Брест максимум – 854 мм – пришелся на 1974 г. Минимальное годовое количество осадков на метеостанции Пружан составило 318 мм (1953 г.), на метеостанции Бреста – 379 мм (1971 г.).

В справочной литературе и других источниках приводятся средние многолетние данные (нормы) по месячным и годовым суммам осадков, существенно различающиеся между собой. Например, для Бреста приводится средняя годовая сумма, равная 540 мм [Шкляр, 1962] и 681 мм [Научно-прикладной ..., 1987]. Разность составляет 141 мм, что соизмеримо с оросительной нормой многолетних трав в среднезасушливый

год (75 % обеспеченности дефицитов водопотребления). Безусловно, отсутствие четкого, единого подхода к определению средних многолетних величин осадков влечет за собой серьезные просчеты при водохозяйственных и других мероприятиях на водосборе р. Мухавец. Проблема состоит в том, что в различных источниках приводятся данные, принятые по различным периодам осреднения и с использованием различных поправок к измеренным величинам атмосферных осадков. Исходные временные ряды осадков крайне неоднородные. Для некоторых станций началом наблюдений является 1891 г., однако войны (1914, 1941 – 1945 гг.) внесли большие пропуски в ряды наблюдений. Дождемеры с защитой Нифера были массово заменены осадкомерами Третьякова (Брест – 13.VI.1949 г., Пружаны – 31.VII.1950 г.), что потребовало введения переходных коэффициентов от показаний дождемера к показаниям осадкомера. С 1966 г. внедрена новая методика наблюдений за осадками, когда поправку на смачивание осадкомерного ведра стали вводить непосредственно при измерении осадков. Данные, приводимые с 1966 г., содержат эту поправку. Существует проблема, особенно в жаркий период, испарения части осадков из аккумуляющей емкости. Но, ввиду малых значений, на территории Беларуси такая поправка не вводится. При выполнении воднобалансовых расчетов с целью увязки стока и испарения, требуется введение к имеющимся данным поправок на ветровой недоучет, значения которых приведены в табл. 1.10 [Справочник..., 1966].

**Таблица 1.10.** Поправочные коэффициенты на ветровой недоучет атмосферных осадков

Месяц											
январь	февраль	март	апрель	май	июнь	июль	август	сентябрь	октябрь	ноябрь	декабрь
Метеостанция Бреста											
1,41	1,41	1,28	1,06	1,03	1,02	1,02	1,02	1,03	1,05	1,15	1,25
Метеостанция Пружан											
1,42	1,43	1,28	1,07	1,03	1,02	1,02	1,02	1,03	1,05	1,18	1,29

В табл. 1.11 приведены средние многолетние величины месячных и годовых сумм атмосферных осадков за период 1975 – 2004 гг.

Сравнивая результаты табл. 1.11 с различными источниками, можно сделать вывод об уменьшении сумм осадков в последнее 30-летие. Наибольшая разность – свыше 10 мм – характерна для июня.

Отмечается большая изменчивость во времени месячных сумм атмосферных осадков, коэффициенты вариации которых изменяются в пределах 0,2 – 0,7 [Волчек, Калинин, 2002].

**Таблица 1.11.** Средние многолетние месячные и годовые суммы атмосферных осадков за период 1975 – 2004 гг., мм

Период осреднения												
январь	февраль	март	апрель	май	июнь	июль	август	сентябрь	октябрь	ноябрь	декабрь	год
Метеостанция Бреста												
36	31	30	41	56	67	80	71	55	39	39	42	588
Метеостанция Пружан												
36	29	33	37	59	74	85	63	58	38	40	42	596

Распределение величин месячных сумм атмосферных осадков имеет небольшую, как правило, положительную асимметрию, что исключает возможность использование нормального закона распределения для оценки изменчивости. Поэтому для определения обеспеченных месячных сумм атмосферных осадков использовано трехпараметрическое гамма-распределение. В табл. 1.12 приведены месячные значения вычисленных сумм атмосферных осадков по метеостанции Бреста различной расчетной обеспеченности.

В расчете использованы среднемесячные суммы атмосферных осадков с поправкой на смачивание осадкомерного ведра [Климат..., 1996]. Несоответствие сумм месячных величин атмосферных осадков за год и годовых значений вызвано внутригодовой асинхронностью.

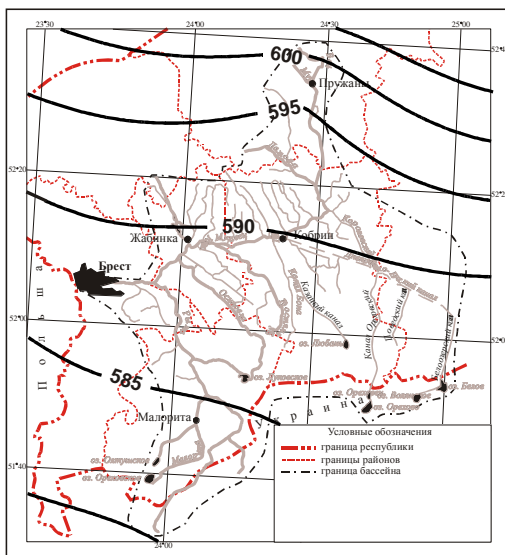
На рис. 1.7 представлено пространственное распределение средних многолетних годовых сумм атмосферных осадков за период 1975 – 2004 гг. Распределение годовых сумм атмосферных осадков на водосборе р. Мухавец носит широтный характер. Осадки увеличиваются с возрастанием высоты местности над уровнем моря.

Суточное количество осадков косвенно характеризует их интенсивность. Непосредственно интенсивность получают по самописцу дождя (плювиографу) за определенный период времени (5, 10, 20, 30 мин.). В летний период интенсивность дождя наибольшая. В среднем

суточная сумма осадков, в день с осадками, составляет от 2 до 6 мм. В то же время суточные суммы колеблются в очень широких пределах – от 0,1 мм до нескольких десятков мм и более. Коэффициент вариации суточного количества составляет 1,25 – 1,40 [Климат ..., 1996].

**Таблица 1.12.** Месячные суммы атмосферных осадков различной обеспеченности по метеостанции Бреста, мм

Метеостанция	Месяц												Год
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
Норма ☾	34	33	35	41	56	78	77	76	51	44	43	40	608
Коэффициент вариации ( $C_v$ )	0,59	0,49	0,55	0,50	0,47	0,47	0,57	0,56	0,67	0,82	0,46	0,51	0,19
Коэффициент асимметрии ( $C_s$ )	1,1	-0,2	0,4	1,0	0,8	0,4	0,8	,4	1,3	2,4	0,3	0,4	0,2
Принятое соотношение $C_s/C_v$	2	0,5	1	2	2	1	1,5	1	2	2,5	1	1	1
P=1 %	97	71	86	103	154	173	205	188	162	174	94	94	891
P=5 %	72	61	70	80	105	144	159	154	116	114	78	77	804
P=25 %	44	49	48	49	88	102	107	101	68	58	56	53	683
P=75 %	19	21	20	26	37	50	44	42	26	19	28	24	527
P=95 %	9	8	7	14	21	23	43	15	8	7	14	16	502
P=99 %	5	3	3	8	13	12	8	6	5	3	7	4	345



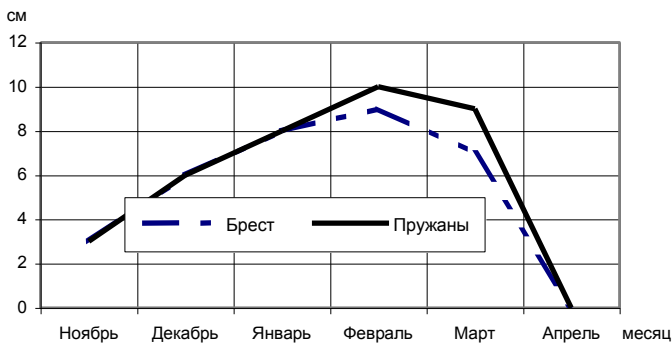
**Рис. 1.7.** Средние многолетние годовые суммы атмосферных осадков (1975 – 2004 гг.), мм

Снежный покров характеризуется твердыми осадками. Из общего количества дней с осадками на долю осадков в виде снега приходится 9 %. Днем со снежным покровом считается день, когда более половины окрестностей покрыто снегом. Снежный покров на водосборе р. Мухавец характеризуется значительной неустойчивостью. Средняя дата образования снежного покрова в Бресте 29.XII, разрушения на 5.III. При этом продолжительность периода со снежным покровом составляет 66 дней. Наиболее раннее образование снежного покрова, наблюдаемое один раз в 20 лет, приходится на 28.XI, а позднее – 5.II. Наиболее ранняя дата разрушения снежного покрова – 7.II, поздняя, с такой же повторяемостью, – 3.IV. В Бресте устойчивый снежный покров разрушается, в среднем, на 7 дней ранее перехода средней суточной температуры воздуха через 0 °С [Климат ..., 1979].

На рис. 1.8 представлено среднее многолетнее распределение высоты снежного покрова в году за период 1975 – 2004 гг.

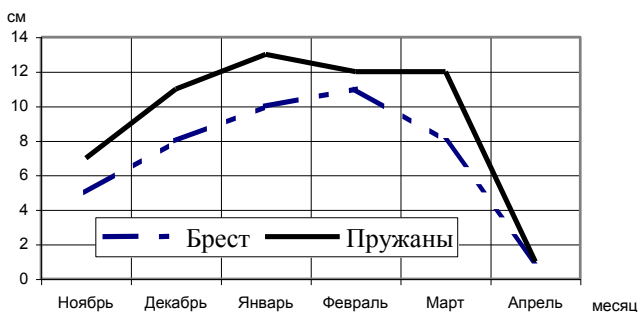
Как видно из рис. 1.8, в большую часть холодного периода средняя многолетняя высота снежного покрова на водосборе р. Мухавец для различных пунктов практически не меняется. Исключение составляют февраль и март, когда появляется некоторое расхождение, носящее широтный характер.

На рис. 1.9 представлено среднее многолетнее (за период 1987 – 2004 гг.) распределение средней из максимальных высот снежного покрова, где наблюдается расхождение около 2 см между гг. Пружаны и Брест.



**Рис. 1.8.** Среднее многолетнее распределение высоты снежного покрова в году за период 1975 – 2004 гг., см

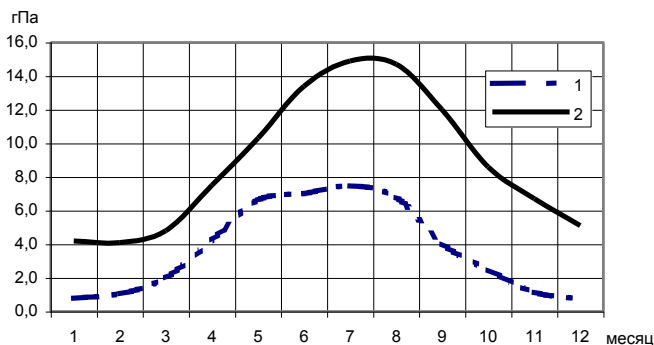
Плотность снежного покрова постепенно увеличивается к концу зимы от  $0,12 - 0,17 \text{ г/см}^3$  до  $0,29 - 0,36 \text{ г/см}^3$ . В среднем за зиму плотность снега составляет  $0,23 \text{ г/см}^3$ . По высоте снежного покрова и плотности снега можно судить о запасе воды в снеге, которую необходимо учитывать при прогнозировании половодий, воднобалансовых расчетах и др.



**Рис. 1.9.** Среднее многолетнее, за период 1987 – 2004 гг., распределение средней из максимальных высот снежного покрова, см

Достаточно большое количество выпадающих осадков, заболоченность водосбора, сравнительно невысокие температуры теплого периода определяют повышенную влажность воздуха исследуемого региона. Влажность воздуха характеризуется следующими величинами: парциальным давлением водяного пара, относительной влажностью, дефицитом насыщения.

На рис. 1.10 представлен внутригодовой ход парциального давления водяного пара и дефицита насыщения в Бресте за период 1975 – 2004 гг. Представленные характеристики внутри года следуют практически синхронно и хорошо коррелируют с температурами воздуха. Пространственная изменчивость парциального давления водяного пара на водосборе р. Мухавец незначительная. Дефицит насыщения изменяется в более широких пределах. В Пружанах его значения ниже, чем в Бресте, на  $0,12 - 0,15 \text{ гПа}$  в январе – декабре и на  $0,89 - 0,91 \text{ гПа}$  – в мае-июле. Ярко выражен суточный ход дефицита насыщения летом. Максимум достигает пределов  $18 - 25 \text{ гПа}$  и приходится на  $13 - 15$  часов.



**Рис. 1.10.** Внутригодовой ход характеристик влажности воздуха в Бресте за период 1975 – 2004 гг.: 1 – дефицит насыщения; 2 – парциальное давление водяного пара

В отдельные дни дефицит насыщения может составлять 35 – 40 гПа. Значительный недостаток влаги в воздухе отрицательно сказывается на вегетации растений. Дефицит насыщения более 20 гПа приводит к снижению тургора у растений, а более 30 гПа – к суховейным явлениям средней интенсивности [Климат ..., 1996]. Влажность воздуха оказывает влияние не только на состояние растений, но и на самочувствие человека.

Значительный интерес представляет относительная влажность, характеризующая степень насыщения воздуха водяным паром. В табл. 1.13 приведены средние многолетние месячные и годовые величины относительной влажности воздуха за период 1975 – 2004 гг.

**Таблица 1.13.** Средние многолетние месячные и годовые величины относительной влажности воздуха за период 1975 – 2004 гг., %

Период осреднения													
январь	февраль	март	апрель	май	июнь	июль	август	сентябрь	октябрь	ноябрь	декабрь	год	
Метеостанция Бреста													
85	82	76	69	64	69	71	72	78	81	85	87	76	
Метеостанция Пружан													
87	84	79	73	69	72	74	74	80	83	87	88	79	

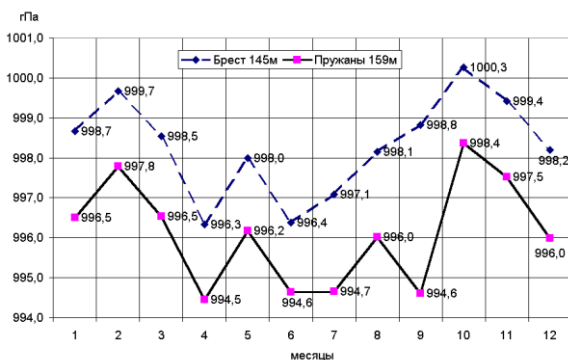


Среднее квадратическое отклонение месячных значений относительной влажности находится в пределах 12–15 %. Годовые значения устойчивы, среднее квадратическое отклонение составляет 1–2 %.

Внутригодовой ход относительной влажности обратно пропорционален ходу температур воздуха: с повышением температуры воздуха давление насыщенного водяного пара растет быстрее фактического, а относительная влажность при этом уменьшается. Наименьшие значения влажности приходятся на май, а не на самый теплый месяц года, так как нарастание температуры над сушей происходит относительно быстрее, чем рост влагосодержания в воздушных массах, приходящих с медленнее прогреваемой поверхности океана [Волчек, Калинин, 2002].

### *Циркуляционные факторы климата*

Давление воздуха практически полностью определяется циркуляционными процессами атмосферы, зависит от географического положения и высоты местности над уровнем моря. В практике пользуются данными по атмосферному давлению, определенному на уровне станции, а также приведенному к уровню моря. Переход от одного уровня к другому осуществляется с помощью приближенного соотношения: на каждые 8 метров увеличения высоты давление уменьшается на 1 гПа\*. На рис. 1.11 приведен внутригодовой ход давления воздуха в Бресте и Пружанах. Осреднение выполнено за период 1975–2004 гг.



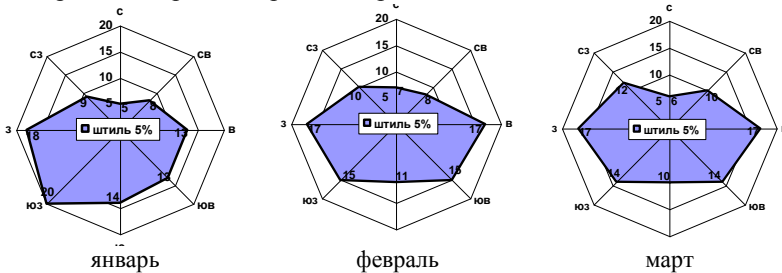
**Рис. 1.11.** Внутригодовой ход атмосферного давления на уровне станции, гПа

\* Примечание. 1 гПа=1мб=0,75 мм рт. столба

Внутригодовой ход атмосферного давления на территории бассейна р. Мухавец имеет свои особенности: максимум – в октябре, минимум – в июне, в то время как для Беларуси максимум имеет место в наиболее холодном месяце – январе, а минимум – в наиболее теплом – июле, что соответствует континентальным районам умеренных широт Евразийского материка [Климат ..., 1996]. Октябрьский максимум для водосбора р. Мухавец связан с ослаблением циркуляционных процессов в атмосфере, в этот период образуются мощные антициклоны и велика повторяемость сухой ясной погоды – «бабьего лета». С конца октября формируется тип барического поля, свойственный холодному сезону. Изобары в этот период располагаются в направлении, близком к широтному. К югу от водосбора бассейна р. Мухавец проходит ось высокого давления, связанная с отрогом азиатского антициклона, который, проходя через весь европейский континент, по пути ослабевает до слияния с Азорским центром повышенного давления. В марте и апреле давление постепенно уменьшается, и в расположении изобар начинает доминировать меридиональная составляющая. В мае завершается процесс перестройки барического поля на летний тип [Климат ..., 1996].

Средние годовые величины давления устойчивы. Разность между крайними годовыми значениями для Бреста составляет 3,4 гПа, для Пружан – 8,1 гПа. Более значительными являются изменения средних месячных величин для различных лет, причем наибольшая амплитуда колебаний приходится на зимние месяцы.

Ветровой режим обуславливается атмосферной циркуляцией и определяется наличием стационарных барических центров. На рис. 1.12 приведены розы ветров для Бреста.



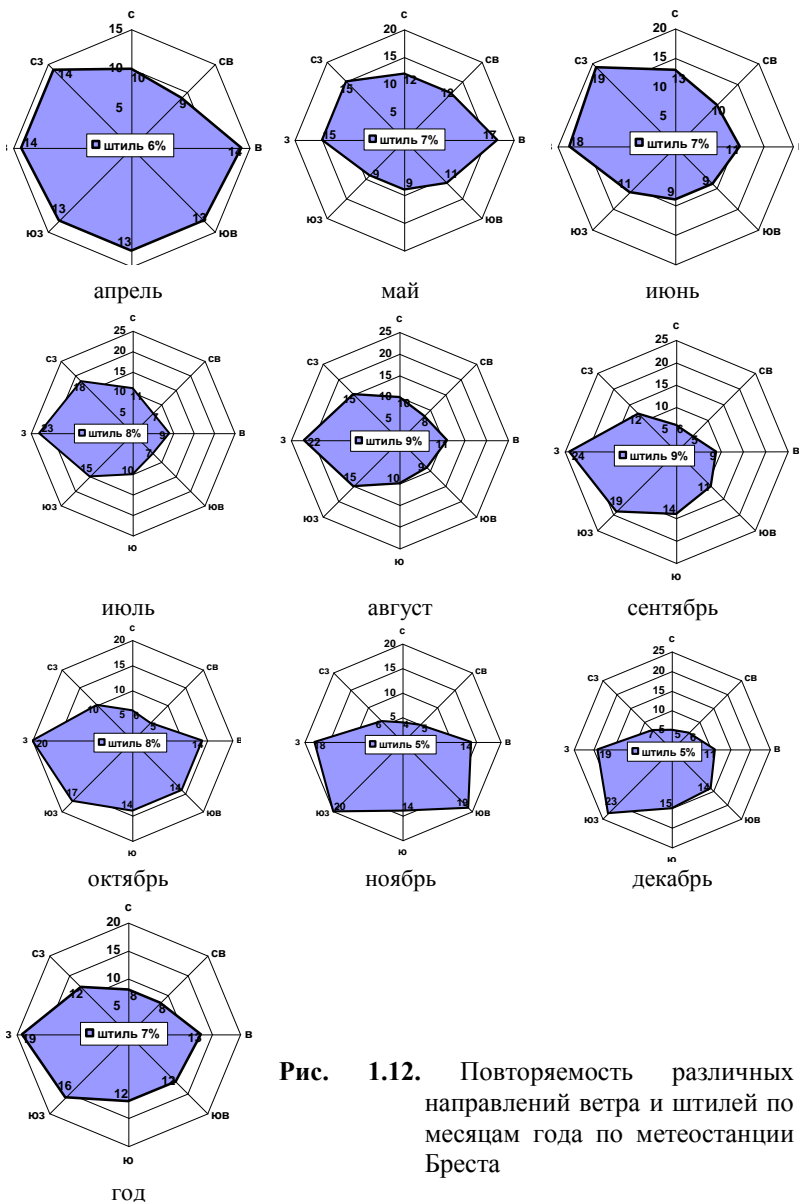


Рис. 1.12. Повторяемость различных направлений ветра и штилей по месяцам года по метеостанции Бреста

В течение всего года практически преобладают ветры западных направлений. Повторяемость ветров тропического и арктического

происхождения значительно ниже. На летний период приходится наибольшее количество штилей. Повторяемость различных направлений ветра от года к году колеблется. Для преобладающих направлений в отдельные годы возможны отклонения от средней многолетней за год на 2 – 3 %, в редких случаях – до 9 % [Климат ..., 1979]. Суточный ход направлений ветра незначительный. Однако хорошо выражен суточный ход повторяемостей штилей, максимум которых имеет место ночью, а минимум – днем.

Внутригодовой ход скорости ветра увязывается с атмосферной циркуляцией и зависит от величины барического градиента. В холодный период года усиление циклонической деятельности приводит к увеличению средних месячных скоростей ветра по сравнению с летним периодом. Значительную роль в скоростном режиме ветра играют различные препятствия, высота местности. Воздушный поток, соприкасаясь с поверхностью, из-за неизбежного трения несколько задерживается, поэтому скорость приземного ветра ниже. При измерениях регистрируется осредненная скорость ветра за 2 – 10 мин. Иногда необходимо знать мгновенную скорость ветра, определяемую за интервал 2 – 5 с.

Данный интервал позволяет зафиксировать порывы ветра, учет которых необходим в инженерных расчетах при определении прочности креплений конструкций и др. Порывистость ветра вызывается образованием восходящих и нисходящих тепловых течений в атмосфере.

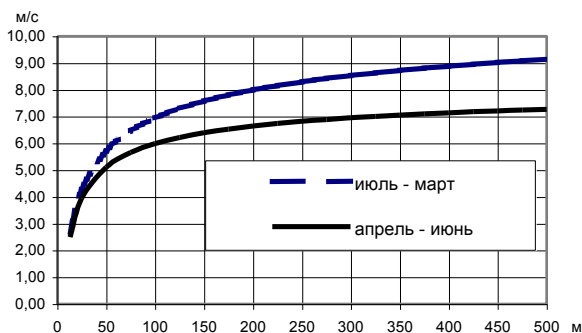
Структура ветрового потока сложная, только при небольших скоростях ветра воздушные частицы относительно спокойно перемещаются по параллельным траекториям. При скорости ветра более 2 – 4 м/с воздушный поток приобретает ярко выраженный турбулентный характер, и тогда пути отдельных струй воздуха пересекаются и становятся непредсказуемыми. Из-за вихревого строения ветра направление и скорость воздушных струй в каждой точке воздушного потока непрерывно меняется. Высокие препятствия создают с подветренной стороны так называемый «штилевой мешок». Принято считать, что на расстоянии примерно  $20h$  от наветренной преграды скорость ветра составляет 90 % от начальной ( $h$  – высота препятствия). На расстоянии около  $9h$  от подветренной преграды ветер отклоняется вверх и уменьшает скорость, а на расстоянии  $3h$  скорость ветра уменьшается в 2 раза, и может даже возникнуть обратный ветер на расстоянии высоты препятствия. При ясной, установившейся погоде наблюдается ярко

выраженный суточный ход изменения скорости ветра. С утра до полуденных часов скорость ветра возрастает, затем ослабевает - иногда до полного затишья ночью. В этих условиях ветер усиливается до 14 - 15 час., а затем ослабевает. Очень слабый ветер обычно неустойчив.

На рис. 1.13 показаны зависимости скорости ветра от высоты для Бреста, построенные с использованием формулы [Климат ..., 1996]:

$$\frac{V_H}{V_h} = 1 + \alpha \left[ 1 - \left( \frac{H}{h} \right)^{-\beta} \right], \quad (1.11)$$

где  $V_H$  и  $V_h$  – скорость на высоте  $H$  и у земли  $h$ ;  $\alpha$ ,  $\beta$  – эмпирические коэффициенты, зависящие от периода осреднения и для июля-марта – 4,20; 0,23, а для апреля-июня – 2,46; 0,41 соответственно.



**Рис. 1.13.** Распределение скоростей ветра по высоте, для Бреста, м/с

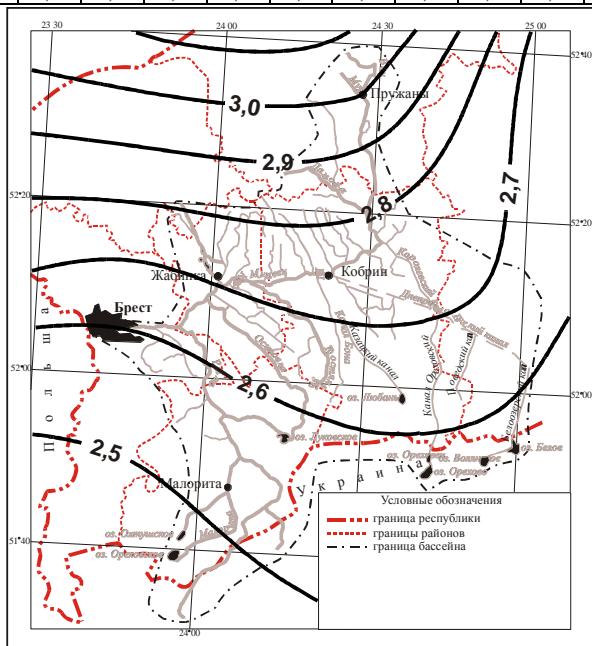
В табл. 1.14 приведены средние значения скоростей ветра на метеостанции Бреста, определенные за различные периоды осреднения. Как видно из табл. 1.14, наблюдается устойчивое снижение скоростей ветра для всех месяцев и годового периода. Климатологи связывают снижение скорости ветра с изменением: в общем – циркуляционных процессов, в частности – увеличением повторяемости восточных форм циркуляции атмосферы в умеренных широтах [Волчек, Калинин, 2002]. Факт снижения скоростей ветра необходимо учитывать при воднобалансовых расчетах водосбора р. Мухавец, особенно при определении испарения.

На рис. 1.14 показано пространственное распределение скоростей ветра за средний годовой период на водосборе р. Мухавец.

Распределение средних годовых скоростей ветра на водосборе р. Мухавец носит широтный характер. Скорости ветра уменьшаются с севера на юг.

**Таблица 1.14.** Средняя месячная и годовая скорость ветра за различные периоды осреднения в Бресте, м/с

Период осреднения													
январь	февраль	март	апрель	май	июнь	июль	август	сентябрь	октябрь	ноябрь	декабрь	год	
1936 – 1960 гг.													
4,0	4,0	4,2	3,5	3,2	3,1	3,0	2,9	2,9	3,2	3,8	3,8	3,5	
1936 – 1980 гг.													
3,6	3,6	3,7	3,3	2,9	2,8	2,8	2,7	2,8	3,1	3,6	3,5	3,2	
1936 – 1990 гг.													
3,5	3,5	3,6	3,3	2,9	2,8	2,7	2,6	2,7	3,1	3,5	3,4	3,1	
1961 – 1990 гг.													
3,3	3,2	2,9	3,1	2,7	2,6	2,6	2,4	2,6	2,9	3,2	3,2	2,9	
1975 – 2004 гг.													
3,1	2,9	2,7	2,7	2,4	2,3	2,3	2,1	2,4	2,6	2,9	2,9	2,6	



**Рис. 1.14.** Средняя годовая скорость ветра (1975 – 2004гг.), м/с

С точки зрения развития ветроэнергетики, водосбор р. Мухавец в настоящее время малоперспективен, так как средняя годовая скорость ветра не превышает 3 м/с. Экономическая целесообразность применения серийно выпускаемых ветроэнергетических установок определяется наличием средних годовых скоростей ветра  $\geq 5$  м/с.

### *Суммарное испарение*

Суммарное испарение – один из основных расходных элементов водного баланса речных водосборов, причем его роль становится определяющей в зоне неустойчивого и недостаточного увлажнения. Сложность исследования суммарного испарения заключается в том, что в настоящее время нет приборов, которые бы напрямую измеряли его величины. Существующие косвенные методы измерения испарения, впрочем, как и расчетные методы, дают существенные ошибки. Кроме того, ограничивающим моментом является малый объем исходной выборки, вследствие чего неизбежно искажение статистических модельных представлений структуры испарения в точке. Для практических целей необходимо определить не структуру испарения в окрестностях отдельных метеостанций, а поле испарения как стохастическое формирование в целом. Данные отдельных лизиметров являются репрезентативными лишь для однородной по условиям формирования испарения территории. Поэтому в ряде случаев целесообразнее отказаться от измеренных величин и использовать рассчитанные величины, что и сделано в настоящей работе.

До настоящего времени не разработано теоретически обоснованной схемы, описывающей движение воды в почве при испарении. Существующие расчетные схемы включают ряд эмпирических параметров, точность определения которых существенно влияет на величины испарения. Необходимо критическое применение современных методов определения суммарного испарения. Во всех случаях практических расчетов необходим обязательный анализ погрешностей и сопоставление полученных результатов с данными о радиационном балансе, испаряемости и, конечно, с измеренными значениями суммарного испарения и данными воднобалансовых исследований.

С методологической точки зрения, можно выделить три направления (метода) количественной оценки суммарного испарения: статистические, балансовые и физические (рис. 1.15). Детальный анализ мето-

дов определения суммарного испарения и возможность их использования выполнен в работе [Волчек, Марчук, 1987].



Рис. 1.15. Граф-схема основных методов определения суммарного испарения

Методы определения суммарного испарения, не требующие дополнительных измерений, сопоставлялись между собой. Величины суммарного испарения, вычисленные различными методами, находятся в довольно широком диапазоне. В настоящей работе использован метод гидролого-климатических расчетов (ГКР), с помощью которого рассчитаны месячные величины суммарного испарения. Это позволило оценить величины суммарного испарения и их изменчивость.

#### Расчет суммарного испарения

Суммарное испарение по методу ГКР определяется по следующим уравнениям [Мезенцев, Карнаевич, 1969]:

$$E = E_0 \cdot \left( 1 + V_{cp}^{-r} n \right)^{1/n}; \quad (1.12)$$

$$V_{cp}^r = \frac{\left( X + G \right) + V_i}{\frac{W_{HB}}{E_0} + V_i^{1-r}}; \quad (1.13)$$

$$V_{i+1} = V_i \cdot \left( \frac{V_{cp}}{V_i} \right)^r, \quad (1.14)$$



где  $E$  – суммарное испарение, мм;  $E_0$  – максимально возможное испарение (испаряемость), мм;  $W_{\text{НВ}}$  – значение наименьшей влагоемкости деятельного слоя почвы, мм;  $V_i, V_{i+1}$  – влажность деятельного слоя почвы на начало и конец расчетного периода в долях от  $W_{\text{НВ}}$ ;  $V_{\text{ср}}$  – средняя за расчетный период влажность почвы в долях от  $W_{\text{НВ}}$ ;  $k X$  – атмосферные осадки с учетом поправок на выдувание и смачивание, мм;  $G$  – грунтовая составляющая водного баланса, мм;  $r$  – параметр, зависящий от водно-физических свойств и механического состава почвогрунтов;  $n$  – параметр, учитывающий гидравлические условия стока.

Системы уравнений (1.12) – (1.14) относительно норм суммарного испарения решаются методом итераций.

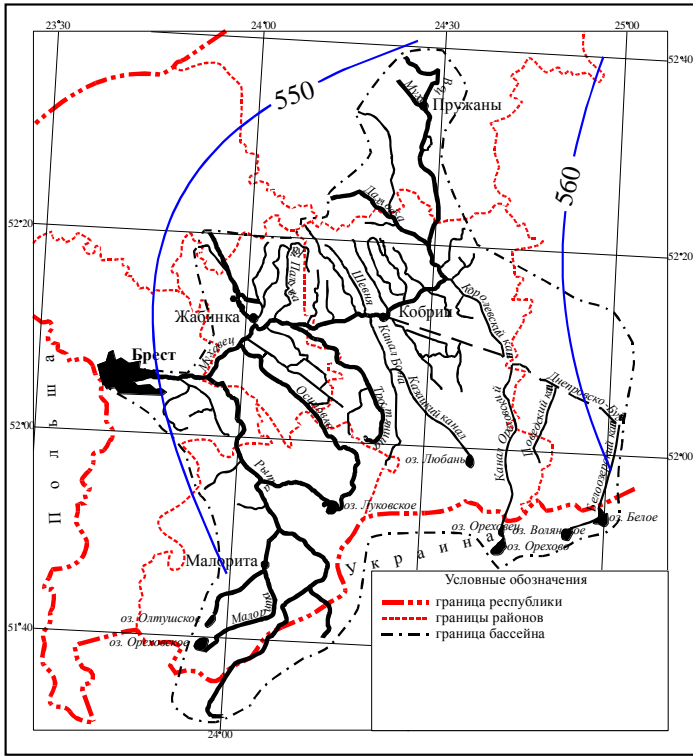
На рис. 1.16 представлена карта годового суммарного испарения на территории Беларуси. Годовая величина суммарного испарения изменяется в небольших пределах и составляет 520 ... 590 мм, увеличиваясь с севера к центру страны, величина суммарного испарения достигает максимального значения и затем убывает к югу, так как на севере оно ограничено тепловыми ресурсами, а на юге – водными. Внутригодовое распределение суммарного испарения для всей рассматриваемой территории характеризуется максимумом в июне и минимумом в декабре, что соответствует экстремальным значениям теплоэнергетических ресурсов (табл. 1.15).

**Таблица 1.15.** Средние многолетние значения суммарного испарения на территории бассейна р. Мухавец, мм

Метеостанция	Месяц								Год
	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	IV-X	
Пружаны	60	93	101	92	72	48	26	492	557
Брест	65	93	95	83	69	47	27	479	549

По методу гидролого-климатических расчетов определены месячные величины суммарного испарения за конкретные годы. Это позволило оценить изменчивость суммарного испарения, которая сравнительно невелика по отношению к стоку и атмосферным осадкам и составляет  $C_v=0,12 \dots 0,15$ , т. е. в среднем  $C_v=0,13$ . Коэффициенты вариации месячных величин суммарного испарения принимают еще большие значения, достигая  $C_v=0,27$ . Во внутригодовом разрезе наибольшая изменчивость наблюдается в июле  $C_v=0,26$ . Причина этого заключается в том, что к этому времени весенние влагозапасы уже, как пра-

вило, израсходованы, и суммарное испарение определяется, в основном, режимом выпадения атмосферных осадков (табл. 1.16).



**Рис. 1.16.** Годовое суммарное испарение на территории бассейна р. Мухавец, мм

**Таблица 1.16.** Коэффициенты вариации суммарного испарения на территории бассейна р. Мухавец

Метеостанция	Месяц								Год
	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	IV-X	
Пружаны	0,22	0,20	0,22	0,15	0,20	0,21	0,23	0,15	0,22
Брест	0,27	0,26	0,23	0,26	0,20	0,22	0,27	0,12	0,27

*Стихийные метеорологические явления и опасные явления погоды*

К стихийным явлениям относят: сильный мороз – понижение минимальной температуры воздуха до  $-35\text{ }^{\circ}\text{C}$  и ниже; сильную жару –

повышение максимальной температуры до 35 °С и выше; сильный дождь – выпадение осадков в количестве 50 мм и более за 12 часов или меньший интервал времени; сильный снегопад – выпадение твердых и смешанных осадков в количестве 20 мм и более за 12 часов или меньший интервал времени; сильный ветер – мгновенная скорость ветра 25 м/с и больше; сильные гололедно-изморозевые отложения – диаметр гололеда на проводе гололедного станка 20 мм и более, смешанного отложения – 35 мм и более; сильный туман – видимость 50 м и меньше, продолжительность не менее 6 часов; сильную метель – метель с усилением скорости ветра до 15 м/с и более, продолжительностью не менее 12 часов; суховейные явления – сохранение в течение не менее 3-х дней высокой температуры воздуха (в дневные часы 25°С и выше), низкой относительной влажности (в дневные часы не выше 30 %) при усилении скорости ветра до 5 м/с и более; засушливые явления – отсутствие в течение 30 и более дней осадков, превышающих 5 мм в сутки, при высокой температуре воздуха (в дневные часы выше 25°С) не менее чем в половине дней периода [Стихийные..., 2002]. К неназванным опасным явлениям погоды можно также отнести заморозки, грозы, град и др.

Температура воздуха –35 °С и ниже неоднократно регистрировалась на всей территории водосбора р. Мухавец. Самая низкая температура (-37,7°С) зафиксирована в на метеостанции Пружан (январь, 1950). Повторяемость лет с температурами воздуха  $\leq -35^{\circ}\text{C}$  невелика и не превышает 2% лет с явлением. На исследуемой территории имели место температуры воздуха, превышающие 35°С, наибольшая из них составила 36,6 °С на метеостанции Бреста (июль, 1959, август, 1892). Повторяемость температуры воздуха  $\geq 35^{\circ}\text{C}$  на водосборе р. Мухавец наивысшая в Брестской области и составляет 9 %. В табл. 1.17 приведены абсолютные экстремумы температур воздуха на метеостанции Бреста [Климат ..., 1996].

На практике удобно пользоваться обеспеченными величинами, так как представленные в табл. 1.17 температуры могут быть исключительными, и последующие экстремальные значения в этом случае могут быть далекими от них. В табл. 1.18 представлена обеспеченность годовых абсолютных экстремумов температур воздуха [Климат ..., 1979].

**Таблица 1.17.** Абсолютные экстремумы температур воздуха на метеостанции Бреста, °С

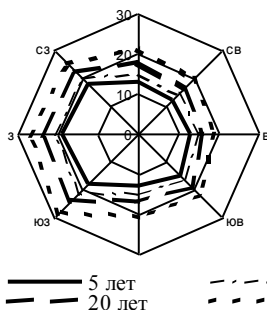
Период осреднения												
январь	февраль	март	апрель	май	июнь	июль	август	сентябрь	октябрь	ноябрь	декабрь	год
Минимум												
-36	-28	-23	-8	-4	2	6	1	-3	-14	-19	-26	-36
Максимум												
12	17	23	31	34	33	37	37	32	26	19	15	37

**Таблица 1.8.** Обеспеченность годовых абсолютных экстремумов температур воздуха в Бресте, %

Обеспеченность, %	5	10	25	50	75	90	95
Абсолютный минимум, °С	≤ -31	≤ -28	≤ -25	≤ -22	≤ -20	≤ -16	≤ -15
Абсолютный максимум, °С	≥ 37	≥ 36	≥ 35	≥ 34	≥ 33	≥ 32	≥ 31

Повторяемость сильных дождей на территории водосбора р. Мухавец составляет 11 – 14 % лет – наибольшая в районе Бреста. В то же время сильные снегопады с повторяемостью 6 % в Брестской области имеют место только в районе Пружан. Сильные дожди представляют собой серьезную опасность не только для сельского хозяйства, но и в целом для экономики региона. Опасными могут быть не только сравнительно кратковременные обильные дожди, но и продолжительные периоды с ежедневным выпадением осадков. Опасным считается уже декадный период с ежедневными осадками и общей суммой за 10 дней не менее 20 мм. Такие периоды наблюдаются в 40 – 60 % лет [Климат ..., 1996].

Сильный ветер  $\geq 25$  м/с на территории водосбора р. Мухавец имеет очень высокую повторяемость: сильных ветров – от 17 % в районе Бреста до 43 % лет в районе Пружан. В этом пункте одна из самых высоких повторяемостей в Беларуси сильного ветра (после г. Славгород). Максимальная мгновенная скорость ветра – 30 м/с – зафиксирована на метеостанции Пружан, причем это явление не является исключительным, так как наблюдалось неоднократно. В практике инженерных расчетов при определении ветровых нагрузок целесообразно принимать максимальную скорость ветра с заданной обеспеченностью (рис. 1.17).



**Рис. 1.17.** Максимальные скорости ветра в Бресте, м/с, по направлениям и их повторяемости

Сильные гололедно-изморозевые отложения на исследуемой территории за период 1966 – 2000 гг. не регистрировались.

На водосборе р. Мухавец в холодный период года создаются наиболее благоприятные условия для образования так называемых адвективных туманов, когда теплый воздух с Атлантики или Средиземноморья поступает на охлажденную земную поверхность. Среднее число дней в году с туманами около 40 – 60. Причем сильные туманы редки, примерно 1 раз в 12 – 24 года, что является незначительной величиной.

Сильные метели являются довольно частым явлением на исследуемой территории. Их повторяемость доходит до 17 % лет. Наибольшее число дней с метелями составляет 3 – 8 в месяц. Наиболее сильные метели наблюдаются в январе и феврале. Ущерб от метелей отражаются, прежде всего, на сельском хозяйстве. На полях происходит перераспределение снега, оголяются возвышенности, на которых вымерзают озимые сельхозкультуры, многолетние травы. В то же время, низины заполняются снегом, в которых весной образуются вымочки. Также метели создают проблемы для нормальной работы автомобильного и железнодорожного транспорта.

Суховейные и засушливые явления, несмотря на достаточное атмосферное увлажнение водосбора р. Мухавец, являются достаточно частыми. Их повторяемость для Бреста – 9 и 11 % лет соответственно. Критерием оценки засушливости служит гидротермический коэффициент Селянинова (ГТК): отношение суммы осадков за определенный период к сумме температур за это же время, уменьшенной в 10 раз. Период считается засушливым, если  $ГТК \leq 0,7$ . Коэффициент рассчитывается для периодов более 30 дней, но растения могут начать испытывать недостаток влаги при отсутствии осадков и в течение более

короткого промежутка времени. Так, на легких почвах и торфяниках уже после 10 дней без осадков задерживается рост растений, происходит их угнетение. Ежегодно в период с апреля по октябрь повсеместно наблюдается в среднем 3 – 4 опасных периода без дождей. Средняя продолжительность бездождевых периодов – 14 – 18 дней [Климат ..., 1996].

Большую опасность для сельского хозяйства представляют собой заморозки. Ввиду высокой мелиорированности водосбора р. Мухавец отмечается увеличение частоты заморозков на мелиорированных торфяниках. Самые поздние заморозки весной приходятся на последнюю декаду мая – первую декаду июня. Самый поздний заморозок на высоте 2 см был зафиксирован в районе Бреста 17.06.1982 г. Самые ранние заморозки осенью приходятся на первую – вторую декаду сентября. Самый ранний заморозок осенью был зафиксирован на высоте 200 см 30.08.1966 г. на метеостанции Пружаны. Большой интерес представляет повторяемость с заморозками весной и поздней осенью до определенной даты, которые приведены в табл. 1.19 [Стихийные..., 2002].

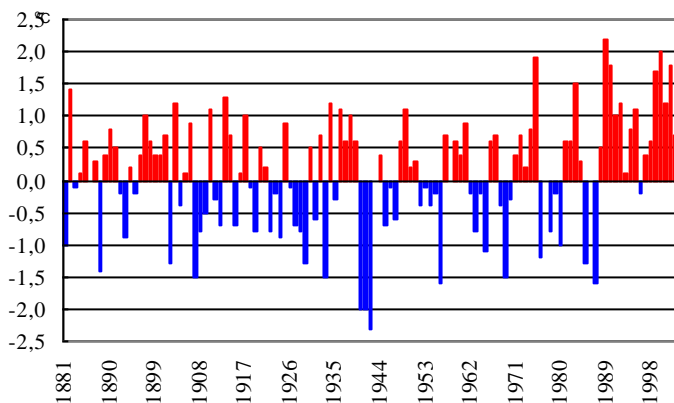
**Таблица 1.19.** Повторяемость (%), лет с заморозками весной (после) и осенью (до определенной даты)

Метеостанция	Весенние заморозки (после)						Осенние заморозки (до)					
	30.IV	10.V	20.V	31.V	10.VI	20.VI	20.VIII	31.VIII	10.IX	20.IX	30.IX	
В воздухе на высоте 200 см												
Брест	35	10	4							5	20	
Пружаны	50	25	15	4				2	2	15	35	
В воздухе 2 см												
Брест	100	80	50	20	4			4	15	45	70	
Пружаны	85	60	40	10	4				10	40	65	
На поверхности почвы												
Брест	65	20	10	2					2	10	10	
Пружаны	65	25	15	2						10	45	

Град – явление, во всех случаях наносящее ущерб сельскому хозяйству, чаще возникает при грозах при прохождении холодных атмосферных фронтов в теплый период года. Град (при размерах градин 2 см и более) является особо опасным явлением погоды. В отдельно взятом пункте град выпадает в 6 – 7 годах из 10, особо опасный град имеет место один раз в 40 – 50 лет [Климат ..., 1996].

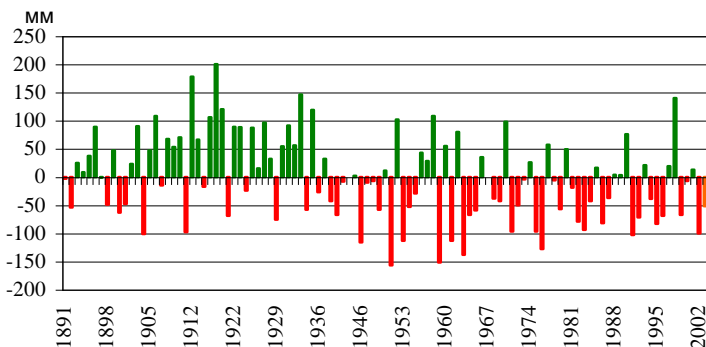
*Изменение климата*

Изменение климата Беларуси происходит на фоне глобальных изменений, связанных с естественными и антропогенными факторами. Как видно из рис. 1.18 – 1.20 (данные Департамента гидрометеорологии Минприроды Республики Беларусь), в последнее время существенно возросла среднегодовая температура воздуха, значительно уменьшилась годовая величина атмосферных осадков и особенно изменилась структура скорости ветра, что непременно сказалось на условиях формирования водного баланса Беларуси. Естественно, что и причины изменения регионального климата одновременно и глобальны, и региональны по масштабу. Как известно, «реки являются продуктом климата» (А. И. Воейков), а следовательно, изменения водного режима рек нужно искать в контексте региональных и глобальных изменений в атмосфере, гидросфере, криосфере, литосфере, литосфере и биосфере [Изменение..., 2003].

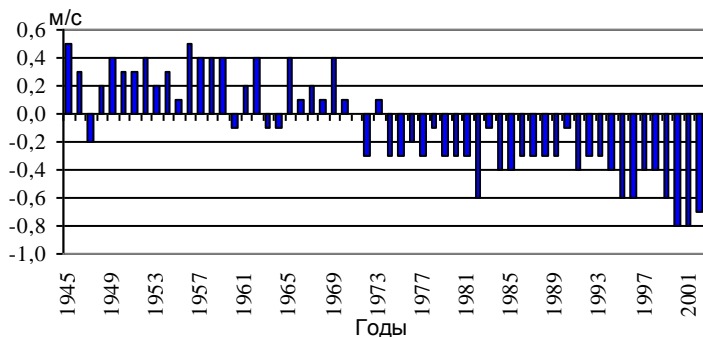


**Рис. 1.18.** Отклонение средней годовой температуры воздуха от средней многолетней за 1881 – 2003 гг. на территории Беларуси

Согласно литературным данным, в Северном полушарии самым теплым годом не только за последние 100 лет, но и за последнее тысячелетие признан 1998 г., а 1990-е годы признаны самым теплым десятилетием за указанные периоды. Десять самых теплых лет за время инструментальных наблюдений приходятся на период с 1983 г. по 2000 г., а 7 из них – на 1990-е годы [Изменение..., 2003].



**Рис. 1.19.** Отклонения средней годовой суммы атмосферных осадков от нормы (1891 – 1990 гг.) за период 1891 – 2003 гг. на территории Беларуси



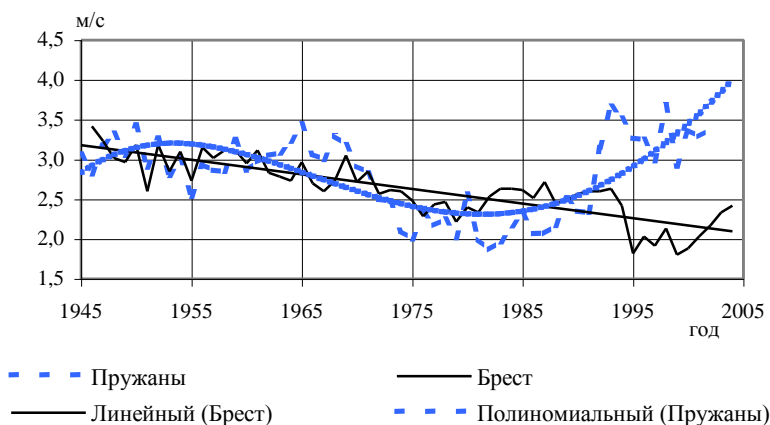
**Рис. 1.20.** Отклонение средней годовой скорости ветра от средней многолетней 1945 – 2003 гг. на территории Беларуси

Отмеченные выше изменения в определенной мере связывают с быстрым ростом парниковых газов, в том числе наиболее значимого для изменения климата и растениеводства углекислого газа. Концентрация  $\text{CO}_2$  в последние годы росла со скоростью 1,5 ppmv/год [Изменение..., 2003].

Закономерности изменения климата в бассейне р. Мухавец подчиняются общим закономерностям, характерным для Беларуси в целом. Выпадает из общей картины характер изменения скорости ветра. По всей территории Беларуси отмечается заметное, статистически значимое уменьшение скорости ветра. Исключение составляет некоторый



коридор Полесская – Волковыск, где скорость не только не уменьшилась, но и в ряде пунктов имеет тенденцию к росту. В подтверждение к сказанному на рис. 1.21 приведен годовой ход средней скорости ветра за период май-октябрь по метеостанциям Бреста и Пружан. Если по метеостанции Бреста наблюдается четкая зависимость уменьшения скорости ветра, то по метеостанции Пружан сначала прослеживается уменьшение скорости ветра, затем, начиная с середины 70-х годов прошлого столетия, отмечается заметный рост скорости ветра.



**Рис. 1.21.** Годовой ход средней (май-октябрь) скорости ветра по метеостанциям Бреста и Пружан и тренды, описывающие эти процессы

Широко распространено мнение, что за последние 100 лет климат, а также водные ресурсы существенно менялись и будут меняться, в первую очередь из-за антропогенных выбросов в атмосферу так называемых «парниковых» газов. Однако существует также точка зрения, согласно которой изменения климата определяются естественными факторами [Раткович, 2003]. По существующим оценкам, к настоящему времени температура приземного слоя воздуха в Северном полушарии уже поднялась на 0,6 °C по сравнению с температурами конца 19 – начала 20 столетия, а к середине текущего столетия повысится еще на 2,5 °C или более [Метревели, Метревели, 2001].

Прогнозируемые изменения температуры неизбежно скажутся и на увлажнении настолько, что без их учета уже сейчас нельзя планировать долговременные водохозяйственные мероприятия. Следует учи-

тывать, что воздействие глобальных потеплений на увлажнение (осадки и речной сток) – процесс многосторонний. Он неоднозначно в зависимости от уровня потепления, его причины, района, сезона, динамики потепления. Ожидаемое потепление вызовет возрастание испарения с океанов, что, в свою очередь, повысит содержание влаги в атмосфере, а вместе с тем и интенсивность атмосферных осадков, а также поспособствует дальнейшему росту температур и развитию конвекций. Связанное с потеплением отступление полярных льдов, помимо дальнейшего усиления потеплений, уменьшает меридиональные контрасты температур между высокими и низкими широтами, чем ослабляет циклоническую деятельность в умеренных широтах континентов, а с ней и количество осадков, особенно в холодное время года. Уменьшение межширотных температур контрастов ослабляет скорости зональных переносов влаги с океанов внутрь материка, что может увеличить аридность в континентальных районах. Изменение концентрации  $\text{CO}_2$  в атмосфере в основном меняет эффективное излучение. Влияние этого фактора равномерно распределяется по широтам. При потеплениях происходит сдвиг циркуляционных зон к северу. Это вызывает увеличение атмосферных осадков в одних районах и уменьшение в других, причем величина этих изменений зависит от уровня потепления.

Важнейшей особенностью потепления климата бассейна р. Мухавец, как и Беларуси в целом, является изменение годового хода температуры воздуха и атмосферных осадков [Природная..., 2002]. Главной особенностью изменения климата является частое появление «безъядерных зим», т. е. январь перестал быть самым холодным месяцем зимы. Амплитуда годового хода температуры уменьшилась; климат стал более морским, при этом также изменился характер годового хода выпадения атмосферных осадков. Прослеживается положительный тренд в изменении разности количества атмосферных осадков в мае-июне и июле-августе, который обуславливается в значительной степени уменьшением атмосферных осадков в июне-августе. При этом выделяются 18-21 летние колебания [Природная..., 2002]. Несмотря на то, что коэффициент природной увлажненности на территории бассейна равен единице, временная и пространственная неравномерность выпадения атмосферных осадков в ее пределах обуславливает образование засушливых периодов различной продолжительности. В бассейне Мухавца в среднем раз в 4 – 5 лет засушливым может быть лю-

бой из месяцев теплого периода, а один раз в 8 – 10 лет засушливым бывают два месяца подряд.

По данным академика В. Ф. Логинова, число экстремальных засушливых явлений с 1951 по 1999 гг. несколько увеличилось по сравнению с периодом с 1891 по 1950 гг. В период интенсивной мелиорации Полесья и до настоящего времени наблюдается рост экстремальных засушливых явлений, который был особенно заметен в августе и сентябре. В то же время в первую половину лета происходит некоторое уменьшение числа засушливых явлений.

За период инструментальных наблюдений засухи, охватывающие южную часть Беларуси, в мае-августе наблюдались 13 раз. В 1936 г. такая засуха отмечалась в мае, в июне засухи наблюдались в 1915, 1964, 1979, 1999 гг., в июле – в 1952, 1959, 1992, 1999 гг., в августе – в 1898, 1909, 1939, 1999 гг. Пять раз засухи охватывали центральный и южный район республики, они наблюдались в мае 1917, 1949, 1986 гг., июне 1940 г., и июле 1951 г. [Природная..., 2002].

Особо надо отметить засуху 1999 г., когда в течение всего летнего периода наблюдалась экстремальная температура воздуха, а атмосферные осадки оказались значительно ниже нормы. В среднем засухи повторяются 1 раз в 2–3 года.

За период инструментальных наблюдений повторяемость природно-масштабных засух существенно не изменилась, тогда как появление засух в августе в последнее тридцатилетие стало более частым.

Как известно, одним из главных антропогенных факторов в бассейне р. Мухавец является гидротехническая мелиорация. Широкомасштабная мелиорация оказала существенное влияние не только на микроклимат осушенных территорий, но и на региональный климат Полесья [Логинов, 1997].

Понижение уровня грунтовых вод на торфяно-болотных почвах Полесья в результате осушительной мелиорации привело к понижению их теплопроводности и повышению объемной теплоемкости. Это способствовало значительному увеличению прогрева почв в дневное время суток, и резкому охлаждению в ночные часы, и, как результат, увеличению количества заморозков. При этом происходит перераспределение поступающей на поверхность солнечной радиации вследствие увеличения альбедо, что вызывает уменьшение радиационного баланса: на осушенных болотах конденсация влаги на поверхности почвы в 1,5 – 3,5 раза больше, чем на естественном болоте. Это вызывает уси-

ление внутрисочвенной конденсации суммарного испарения и внутрисочного влагооборота в системе почва – атмосфера.

Проведенный академиком В. Ф. Логиновым анализ хода метеорологических изменений в районах массового осушения, в том числе и бассейне р. Мухавец, показал, что в период интенсивной мелиорации (1965 – 1984 гг.) и последующие годы температура воздуха в июне и июле уменьшилась на  $0,2 - 0,7$  °С, в августе ее снижение незначительно. Эти изменения можно отнести на счет влияния интенсивного осушения земель. Поскольку при интенсивном сельскохозяйственном использовании осушенных земель суммарное испарение и влажность воздуха увеличиваются в первую половину лета и уменьшаются во вторую, количество атмосферных осадков возрастает в первую половину лета. Общие изменения атмосферных осадков составят  $10 - 31$  мм [Природная..., 2002].

## 1.2. Рельеф

Современный рельеф бассейна р. Мухавец представлен преимущественно плоскими и плоскостными низинами и равнинами, речными долинами и отдельными массивами гляцио-моренных образований. Вертикальное расчленение рельефа обычно не превышает  $5$  м и только местами в западной части бассейна превышает эту величину.

Длина гидрографической сети зависит от высоты местности: чем выше местность, тем ее расчлененность больше. Так, на низинах она наименее расчленена и густота эрозионной сети не превышает  $0,1 - 0,2$  км/км<sup>2</sup>, на равнинах –  $0,3 - 0,5$  км/км<sup>2</sup>, а на склонах краевых ледниковых гряд и возвышенностей –  $1 - 2$  км/км<sup>2</sup>.

Основным рельефообразующим фактором на территории области является деятельность среднеантропогенных ледников – Днепровского и Сожского. Созданный в то время ледниковый рельеф был в той или иной степени преобразован эрозионной деятельностью временных и постоянных водотоков, эоловыми, гравитационными и карстовыми процессами. В последнее время важным рельефообразующим фактором стала антропогенная деятельность человека, которая приводит к изменению естественного рельефа, созданию большого количества искусственных прудов, карьеров, дамб, каналов и т.д.

Рельефообразующими породами на территории области являются отложения антропогенного и голоценового возраста, которые представлены флювиогляциальными, озерно-аллювиальными, аллювиаль-